Écologie dans les dunes littorales.
II. *Percolation et mouillabilité.*

Par J.-M. Turmel.

Cette deuxième étude (1) sur l'écologie des dunes littorales porte sur la percolation et la mouillabilité des sables dunaires.

Dans plusieurs articles précédents j'ai étudié et analysé les phénomènes de percolation et de la mouillabilité dans les dunes normandes et au Sahara (2). Ici j'étends à d'autres dunes littorales françaises [1] entre Quiberon (Morbihan) et Marennes (Charente-Maritime), les expériences effectuées sur la côte Ouest du Cotentin au printemps 1951. Ces nouvelles expériences ont été faites en juin 1957 et juin 1959 dans tous les milieux des dunes, comme je les ai définis dans la note précédente : estran, zone à *Atriplex* zone à *Agropyrum*, zone à *Psamma* et dunes fixées, où je distingue plusieurs faciès.

Ces mesures de percolation s'effectuent comme dans les premières expériences ; c'est-à-dire nombreux versements consécutifs de 50 cm^3 d'eau douce dans un cylindre de six centimètres de diamètre enfoncé de 5 centimètres dans le sol ; on mesure les temps de pénétration, dans le sol, des 50 cm^3 de chaque versement. Les temps sont exprimés en secondes.

I. — Estran.

Cinq séries de mesures ont été faites dans ce milieu :

Barbâtre : 7-9-10-9,5-8-8-7,5-7,5-9-9,5-9-9,5-9-9.

Plage des Demoiselles : 6-...-7-8,5-8-8-7,5-8-8-8,5-8-8-8,5-9-9-9-9-9-9-9-9-9.

Penthièvre Est : 8-15-17-16-17-17-17-17-18-17-17-16-17-16,5-17-17-18-18-17-17-18-19.

Penthièvre Ouest : 10-13-15-14-15-14-15-15-15-15-15-15-15-14-15-13-15-15.

Saint-Trojan : 15,6-45,2-49,3-49,8-51,2-49,5.

1. A Quiberon : plages Est et Ouest du cordon littoral au fort Penthièvre ; à l'île de Noirmoutier : plage de Barbâtre, Pointe de la Fosse et Pointe de la Loire ; à Saint-Jean des Monts : plage des Demoiselles ; à l'extrémité de la pointe de l'Aiguillon ; à l'île de Ré : le Bois plage en Ré, presqu'île des Portes ; à l'île d'Oleron : grande plage de Saint-Trojan, des Boyards, de Matha et au perthuis de Maumusson enfin à Marennes-plage.

Ces courbes sont toujours ascendantes ; leur assymptote correspondant au maximum de la courbe ; les valeurs très faibles des ordonnées des assymptotes, pour les quatre premières stations, oscillent entre 9 et 19 sec. (moyenne 12,8). Une seule, la station de la grande plage de Saint-Trojan fait exception ; le maximum est aux environs de 51 sec. mais ceci s'explique par la présence de nombreux débris ; on est là dans une station de plage transformée où auraient pu s'installer les plantes de la zone à *Atriplex*.

II. — Zone à Atriplex.

La présence de cette zone de végétation est liée, comme je l'ai montré dans une note précédente, à l'existence dans le sol d'un niveau humide plus ou moins chargé d'humus. Sept stations ont été étudiées :

Aiguillon : 9-13,5-12,8-12-11-10-10-10-10-10.

Pointe de la Loire : 50-27-25-24-23-22-21,5-21-21-20,5-20,5-20-19,5-20-19,5-20,5-19,5-19,5-20-19,5-19,5.

Penthièvre Ouest : 22-30-26-24-23-23-22-22-22-22-21-21-21-20-21-21-21-20-20-20,5-20.

Pointe de la Fosse : 28-33-32-32-28,5-28,8-29-27.

Saint-Trojan : 18-23,2-25,4-23,8-24,7-24,5-24,5-25-24,8.

Penthièvre Est : 9-36-38-36-36-33-33-32-33-32,5-33-32,5-32,5-32-32-32-31-31,5-32-31-31-31.

Saint-Trojan : 22-33,6-36,2-36-35,8-36-35,4-35-34.

Six sur sept des valeurs ultimales (moyenne 24,0 sec.) se placent nettement au dessus de celles de la station précédente. Les courbes (sauf une à la pointe de la Loire) présentent toutes un maximum : d'abord croissantes rapidement, puis décroissantes lentement pour tangenter une assymptote horizontale variant entre 10 et 34 sec., la moyenne étant de 24,1 sec.

La courbe de la station de la Pointe de la Loire est uniquement décroissante, la valeur du temps de pénétration au deuxième versement correspond sensiblement au maximum des autres courbes.

Quatre expériences avaient été faites dans ce même milieu dans les dunes normandes ; l'allure générale de trois de ces courbes est analogue à celle trouvée ici ; les valeurs ultimales étant très voisines de 24 sec. (25-23-22) seule une expérience (n° 9) montrait une courbe toujours croissante avec des valeurs élevées (140 sec.), expérience faite « sur une très grosse masse de varech (10-15 cm d'épaisseur) en voie de décomposition recouverte de 7-8 cm de sable ».

III. — Zone à Agropyrum.

Dans la zone à *Agropyrum* quinze séries de mesures de percolation ont été faites :

Presqu'île des Portes : 14-23-19,3-18,4-17,5-16-17-17-16,5.
id. : 14-22,6-23,2-23-22,8-21-20,7-21-20,2-19,7-19.
Pointe de la Fosse : 16-20-19-18,4-17-16,6-16,2-16-16-15,2-15,6-15, 6.
Aiguillon : 11,5-16,5-18,6-19-19,8-20-19,5.
Le Bois : 9,3-19-19-19,4-19-19-19.
Plage des Boyards : 5-10-13-12,5-12,4-12,4-14-12,7-12,5.
Saint-Trojan : 16,4-49,4-54,3-51-51,2-51,2-51,3-48-50,6.
Saint-Trojan : 12-28-31,4-33,3-32,8-34.
Saint-Trojan : 9-30,2-33,2-32-32,8-33,2.
Saint-Trojan : 9,8-18,5-24,1-23,7-22,2-21,5-21,4-21,2.
Barbâtre : 12-19-21,5-21-19,5-18-18-18-17-15-17-16,5-16-16-16-16-16-16.
Pointe de la Loire : 23-20-19-18-17-17-17,5-18-17,5-17-17,5-17-17-17-17-16-16,5-16,5-16-16,5.
Plage des Demoiselles : 9,5-15-15-14,5-15-15-15-15-15-15-15-15-15-15-14-15-15-15-14-14.
Penthièvre Est : 15-26-26-27,5-26-27-27-27-27-27-27,5-27,5-27,5-27-28-27-27-26,5-26-26.
Penthièvre Ouest : 36-37-36,5-34-33,5-33-31,5-30,5-28,5-29-28,5-28,5-28-27-28-27,5-27,5-27-27,5-26-26,5-26.

Les valeurs ultimables s'échelonnent toutes (sauf une à la plage de Saint-Trojan) entre 15 et 35 sec. ce qui donne, pour ces quatorze stations groupées, une moyenne de 19,1 sec. (22,5 pour toutes les stations). Neuf courbes possèdent un maximum net ; quatre ont un maximum très peu marqué, une courbe est croissante de bout en bout et une est décroissante. La courbe franchement croissante et les quatre où le maximum est peu net correspondent à une zone où l'*Agropyrum* est pionnier et où le sable est extrêmement mobile les autres courbes à la zone normale où les *Agropyrum junceum* vivent en grande masse.

Les valeurs ultimales sont sensiblement les mêmes que celles trouvées précédemment en Normandie mais alors que l'on n'avait que des courbes croissantes (sauf une à maximum) ici c'est l'inverse. On peut donc en conclure que la zone à *Agropyrum* des dunes du Cotentin, est moins transformée pédologiquement que celle des stations étudiées ici.

IV. — Zone a Psamma.

Treize séries de mesures ont été effectuées dans cette zone ; elles sont transcrites ici :

Boyard : 6,8-14,8-14,5-14,3-14,5-14,8.

Barbâtre : 32-30-26-24-23-23-20-19-19-18-18,5-17-17,5-17,5-17-17-17-17-17-16-16.

Le Bois : 29-31-28-23-21-21-19-19,6-19-19-18,5-16-17,5-16-18-16-18,5-17,5-17.

Plage des Boyards : 9,5-21,5-22-21-22,5-22-22-20,8.

Penthièvre Ouest : 50-51-43-35-34-33-32-30-29-29-28-29-27-26-25,5-25,5-25-25,5-24-24-23,5-22.

Aiguillon : 74-64-51-40-38,5-36,2-34,5-32,5-30,5-28-26,5-25,4-24-23-24-23,5.

Plage des Boyards : 40-32,2-30,7-28,5-26,5-26-25,2-24,7-27,5-24.

Penthièvre Ouest : 22-36-35-33-33-31-31-27,5-27,5-27,5-27,5-27-26-26-25-25-25-25-26-24-24-24.

Saint-Trojan : 10,7-25-24,5-24,8-25-24,8-24,7-24,8.

Plage des Demoiselles : 15-25-26,5-26-25-25,5-25,5-25,5-25,5-26-25-25,5-26-25-25,5-25,5.

Barbâtre : 48-35-30-30-30-28-26-28-27-29-28,5-28,5-26-28-28-26-26-27-26,5-25,5-26-26-26-25-26-26-25,5-26-26-26-25-26.

Penthièvre Est : 150-110-85-82-78-75-72-68-66-62-61-64-62-57-55-55-53-50-51-48-45.

Pointe de la Fosse : 49-79-75-73-71-67,5-66-65-63-62-62-61-60-57.

Sur ces 13 expériences trois ont des courbes qui sont uniquement croissantes ou ont un maximum assez peu net ; quatre présentent des courbes à maximum bien net et six sont des courbes décroissantes. Les trois courbes qui présentent un maximum peu net correspondent à des stations qui ont des affinités botaniques et géomorphologiques avec les stations de la zone à *Agropyrum* ; les quatre à maximum sont nettement caractéristiques du tapis végétal de la zone à *Psamma* ; les courbes continuellement décroissantes proviennent de stations qui ont des affinités assez nettes avec la zone de dunes fixées.

Les résultats obtenus en Normandie montrent uniquement des courbes croissantes et à maximum ; les valeurs correspondant au début et à la fin des expériences sont sensiblement les mêmes.

V. — Dunes fixées.

Vingt-deux mesures y ont été effectuées ; cinq sont localisées dans les peuplements à *Ephèdra*. Les dix-sept autres sont faites dans différents tapis végétaux qui ont subi des ensablements plus ou moins importants (tapis de *Corynephorus*, d'*Helichrysum*, de *Medicago*, de *Lagurus* et de *Tortula ruralis*).

Il faut d'abord prendre en considération trois expériences à la presqu'île des Portes, à Marennes et à la Pointe de la Fosse.

Presqu'île des Portes : 44-73-64-57-54-53,5-53,5-53.
Marennes : 55-80-76-69-67-64-63-63,5-64-65-64-63.
Pointe de la Fosse : 92-103-90-84-82-75-72-70-68-66-60-60-58.

Ces trois courbes ont toutes les trois un maximum bien net ; deux correspondent à des stations de dunes fixées qui possèdent encore quelques affinités botaniques ou géomorphologiques avec les dunes mobiles (ensablement, banc de galets pas complètement recouvert) ; la station de Marennes, qui est dans une dune fixée typique avait un sol très légèrement humide. Ces remarques expliquent que la moyenne des valeurs ultimales soit relativement basse (84 sec.) pour des stations de dunes fixées.

Parmi les quatorze expériences qui restent à examiner, les six qui ont les valeurs de début les plus faibles correspondent aux stations ensablés : Plage des Boyards (*Helichrysetum* ensablé), Plage des Demoiselles I (*Corynephoretum* fortement ensablé, le Bois-plage (peuplement de *Medicago marina* ensablé), pointe de l'Aiguillon (*Helichrysum* et *Corynephorus*), Penthièvre Ouest (*Medicago marina*), Dunes des Demoiselles II (*Corynephoretum* et *Tortula*) ; ces trois dernières stations ont un ensablement presque nul.

Les résultats sont consignés dans le tableau ci-contre :

Plage des Boyards : 90-65-50-52-50-45,5-47-44-40.
Le Bois-Plage : 92-83-67-60-54-49-48-43-42-36.
Plage des Demoiselles I : 94-89-72-65-60-59-53-53-54-51-49,5-48-46-47-47-44-45-44-44-42-41-40-41-40-37,5-39,5-34,5-...-39.
Penthièvre (*Medicago* ensablé). 161-130-110-101-91-91-81-83-76-80-73-74-75-74-70-69-67-68-63-63-62-65.
Penthièvre (*Medicago* peu ensablé) : 160-...-101-102-102-105-106-106-105-105-108-109-110-105-105-113-108-113-106-109-113.
Plage des Demoiselles II : 175-153-144-131-135-111-109-106-98-90-81-74-66-62-59,5-59-57-53,5-53-52-50-50,5-49-47-48-46,5-45-45,5.

Les courbes qui caractérisent ces expériences décroissent toutes régulièrement, ce qui les différencie entre elles, c'est la valeur du temps de pénétration de l'eau dans le sol lors du premier verse-

ment (entre 90 sec. et 630 sec.) et du dernier (entre 20 sec. et 170 sec.).

La moyenne des valeurs ultimales (56 sec.) est extrêmement voisine de celle trouvée pour les trois premières courbes.

Les huit dernières expériences se placent dans les dunes fixées non remaniées : à la pointe de la Fosse (peuplement de *Corynephorus* et *Helichrysum*, aux dunes de Matha, à Barbâtre sous le tapis de *Tortula*, sur le cordon littoral du Fort Penthièvre : côté Ouest *(Tortula)* et Est (peuplement de *Lagurus ovatus*), aux dunes de Maumusson, de Barbâtre *(Tortula, Helichrysum)* et à Le Bois-Plage (*Corynephorus* et *Helichrysum*). Ces expériences ont respectivement les valeurs suivantes :

Pointe de la Fosse : 180-150-143-137-136-124-122-122-115-...-110-108-106.

Matha : 210-150-130-127-122-123-122-125.

Barbâtre : 265-155-120-112-105-100-97-95-95-90-90-86-84-82-85-84-82-83-82-80-75-75-77.

Penthièvre Ouest *(Tortula)* : 280-210-200-180-180-176-165-160-165-160-146-148-133-135-131-124-122-120-113-112.

Penthièvre Est *(Lagurus)* : 390-210-177-144-138-125-115-109-105-97-91-92-89-87-82-80-80-77-75-75-75.

Maumusson : 480-240-180-170-150-160.

Barbâtre : 600-320-305-292-275-248-220-220-210-210-200-181-180-169-172-172-172-178-174-172.

Le Bois-Plage : 630-450-330-270-240-220-200-180-160-145-138-138-130.

La moyenne des valeurs ultimales est ici notablement plus forte que dans les autres parties des dunes fixées (120 sec. environ), et toutes les courbes sont décroissantes.

Le peuplement à *Ephedra* correspond à un stade parfaitement fixé de la dune où sauf accident, le sol est entièrement couvert d'un épais manteau végétal.

Les valeurs des temps de pénétration sont résumées dans le tableau ci-dessous :

Barbâtre : 80-64-60-58-56-56-56-52-52-48-49-48-48-44-42-45-42-42-42-40-41-41-41-37-39-39-38-35-33-35-35-35.

Plage des Demoiselles : 288-205-184-180-167-166-158-159-152-152-154-147-147-145-146-146.

Penthièvre Est : 840-540-420-375-355-330-315-310-300-300-290-290-285-280-275-265.

Penthièvre Ouest : 340-260-190-140-130-120-107-105-100-100-92-92-90-91-89-86-83-80-79-81-78,5-77,5.

Le Bois-Plage : 150-80-70-75-65-63-57-53-48-42-40-37.

Ces cinq courbes sont toutes décroissantes de bout en bout. On y distingue cependant de très notables différences dans les temps de percolation : il faut voir là probablement le résultat de dates différentes de colonisation : les sols n'ayant pas toujours, sous un même couvert végétal, même degré d'évolution. Pour les valeurs des premiers versements elles s'étagent entre 80 sec. (prairie à *Koeleria albescens*, nombreux *Trifolium campestre*, *Muscari comosum*, *Ephedra* peu commun) et 840 sec. (*Ephedra* abondant et *Tortula*) ; cette dernière valeur (14 min.) est la plus forte trouvée pour toutes les dunes.

La comparaison que l'on peut faire avec les résultats déjà obtenus dans le Cotentin montre que l'allure et l'amplitude des courbes trouvées pour les stations des dunes fixées sont semblables. La durée du temps de percolation le plus long avait été de 930 sec. alors qu'il est ici de 840 sec.

*
* *

D'après tous ces résultats on voit donc que la percolation se fait à des vitesses et avec des modes extrêmement différents suivant les zones de végétation et cela pour des granulométries sensiblement identiques ; c'est au phénomène de mouillabilité qu'il faut imputer ces différences.

J'ai déjà montré pour les courbes toujours montantes que les valeurs faibles du début de l'expérience correspondent à la phase de saturation du sol dans le cylindre et que ces valeurs sont d'autant moins différentes de la valeur assymptotique finale que l'échantillon est d'avantage près de son point de saturation ; cette valeur assymptotique ne dépendant que de la structure du sol et de ses conditions physico-chimiques et non pas de sa teneur en eau.

En ce qui concerne les courbes toujours décroissantes on est en présence d'un tout autre phénomène. En effet lors des premiers versements l'eau peut rester longtemps à la surface du sol avant de pénétrer un peu ; puis l'eau s'enfonce lentement, seulement par un interstice un peu plus grand que les autres et finalement pénètre profondément par « un puits » en ne mouillant que très peu de sable. Les grands écarts qui peuvent exister entre les temps de pénétration des premiers versements sont dus à ce que au début du premier versement l'eau ne pénètre pas encore par les canalicules ; puis cette circulation s'établissant il y a très notable diminution du temps de stagnation de l'eau à la surface du sol ; enfin l'abaissement réduit du temps que l'on constate après est lié à l'établissement d'un système régulier de circulation. C'est la rapidité de progression du mouillage des particules solides,

autour des canalicules qui conditionne l'augmentation de la vitesse de circulation. Comme dans le premier cas l'assymptote est représentatrice de la structure du sol mais en période sèche ce n'est pas elle qui joue un rôle important mais ces phénomènes de mouillabilité. Des études sur la mouillabilité des sols dunaires ont montré la grande différence qui existe entre les sables des associations mobiles et ceux des dunes fixées ainsi qu'entre ceux de surface et de profondeur dans les dunes fixées.

Des résultats antérieurs m'ont montré combien les sables de surface des dunes fixées étaient peu mouillables [1] : après séchage « au bout de deux minutes seulement 2,4 % sont sédimentés et 1,5 % dans une autre expérience et enfin seulement 4,2 et 2,5 respectivement au bout de quatre heures », alors que pour les sables mouillables c'est plus de 85 % qui sont sédimentés au bout de trente secondes et plus de 90 % au bout d'une minute.

Au début de juin 1959 dans les dunes fixées de Barbâtre dans l'île de Noirmoutier j'ai pu mettre en évidence un phénomène particulier. Sur de petites pentes chaudes on constate que le tapis de *Tortula* est fragmenté et craquelé. Ceci est dû à une importante dessication qui tord les tiges des mousses et l'on voit alors sur le sol, uniquement pour le tapis muscinal, un phénomène de « fentes de retrait » comme pour les sols argileux en période sèche. Exactement sous les plaques de mousses le sol est absolument non mouillable alors que entre les plaques, au milieu des fentes le sable est mouillable partiellement sur une épaisseur d'environ 0,5 cm. Une goutte d'eau posée entre les plaques disparaît en moins de 15 sec. en s'étalant et en mouillant une grande surface. Au contraire, la goutte tombée sur le sol non mouillable, se met en boule et reste ainsi très longtemps. Au bout de 2 heures, la goutte d'eau n'est nullement étalée, le sol immédiatement en dessous, vers un ou deux millimètres est toujours sec. Seul le diamètre de la goutte d'eau a un peu diminué mais cela est dû à l'évaporation !

De rapides expériences faites sur le terrain donnent pour les sols mouillables près de 30 % de grains qui sont mouillés immédiatement et seulement 1 % pour les sols non mouillables pris sous les mousses. La différence est beaucoup moins sensible au laboratoire quand les deux échantillons ont même teneur en eau. Les sols non mouillables sont seulement 1 % de leurs particules qui sédimentent en 30 sec. alors que pour les sols mouillables seuls, maintenant, 3 % sédimentent. Il faut donc penser que c'est la teneur en eau de ces deux stations (si proches), l'une à

1. La mouillabilité d'un sol s'évalue en déterminant le pourcentage de particules sédimentées en un temps donné ; ce sol ayant été déposé très doucement à la surface d'une eau douce tranquille.

l'abri sous les mousses et l'autre au contact de l'air humide et de la rosée qui font que l'un est un peu mouillable et l'autre pas du tout. Il ne peut s'agir ni d'un apport de sable mouillable ni d'une usure mécanique par le vent de la pellicule enrobant les grains ni d'une dissolution différente entre ces deux stations.

En conclusion deux modes de circulation de l'eau existent l'un qui est propre aux dunes mobiles et l'autre aux dunes fixées. Dans le premier cas, pour ces dunes non chargées d'humus et où les particules solides sont nues, la siccité du milieu importe peu : les courbes sont toujours croissantes tendant vers une assymptote horizontale correspondant aux valeurs les plus élevées ; les valeurs de début sont d'autant plus proches de l'assymptote que le sol est plus saturé.

Dans le deuxième cas où les particules sableuses sont enrobées de substances humiques la très grande siccité empêche toute pénétration ; l'humidification au contraire favorise la pénétration et, ici encore, plus le sol est riche en eau plus les valeurs de début sont proches de l'assymptote, correspondant aux temps les plus faibles.

Les courbes à maximum correspondent à des types de stations de dunes fixées, plus ou moins remaniées ou plus ou moins humidifiées en surface seulement.

Donc pour résumer le phénomène : dans un cas l'humidité croissante augmente les temps de percolation (dunes mobiles mouillables) alors que dans l'autre elle les diminue (dunes fixées mouillables).

BIBLIOGRAPHIE

(1). — Turmel (J. M.). — Écologie des dunes littorales. I. Teneur en air eau et particules solides. *Bull. Mus., Paris*, 2e sér., t. 31, 1959, pp. 448-453.

(2). — La percolation dans les sables. I. Dunes maritimes de Normandie. Les faits. *Ibid.*, t. 22, 1950, pp. 664-71, 5 tabl.

— *Id.* Expériences au laboratoire et discussion des résultats. *Ibid.*, t. 22, no 6, 1950, pp. 804-14, 1 fig., 4 tabl.

— *Id.* II. Recherches préliminaires dans les divers milieux du Sahara occidental. *Ibid.*, t. 24, no 6, 1952, pp. 608-15, 4 tabl., 1 fig.

— Diffusion de l'eau de percolation dans les sables sahariens. *Ibid.*, t. 25, no 1, 1953, pp. 105-109, 2 tabl., 2 fig.